

**LE PENDULE SIMPLE : un transformateur d'énergie ?**

**Objectif :** on se propose dans ce TP d'étudier les transformations d'énergie lors du mouvement d'un pendule simple. L'étude expérimentale est réalisée par saisie informatique de l'angle puis calcul des grandeurs appropriées pour faire l'étude énergétique.

**A. Etude préalable**

a) Dispositif

Un pendule simple est constitué d'une masse  $m$  accrochée par un fil (ou une tige) de longueur  $L$ , lui-même accroché à un point fixe.

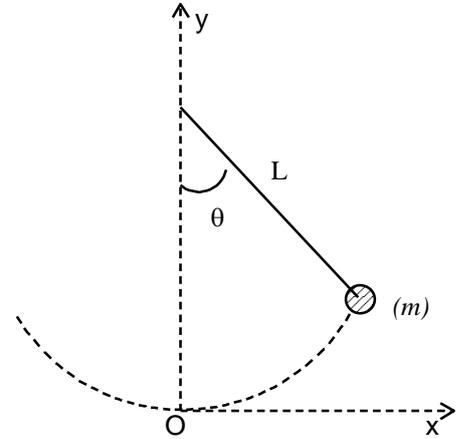
*Rem : Pour que le pendule soit considéré comme « simple », il faut que  $L \gg$  dimension masse*

*On considérera pour la suite que le fil est de masse négligeable devant celle de la masse  $m$ .*

b) Analyse des forces

Soit le système  $S = \{ \text{masse } m \}$  et le référentiel terrestre défini sur le schéma ci-contre

- Sur le schéma ci-contre, représenter les forces appliquées au système étudié
- Lors du déplacement du pendule - par ex, lors du passage de  $A(\theta_A)$  à  $B(\theta_B)$  - préciser l'expression du travail de chacune des forces en fonction de la variable de position angulaire



.....

.....

.....

.....

c) Analyse des énergies mises en jeu

- Lors du déplacement du pendule, quelles sont les énergies mises en jeu ?

.....

.....

.....

- Donner les expressions littérales de ces énergies en fonction de la variable de position angulaire ou de ses grandeurs dérivées

.....

.....

.....

d) Variation d'énergie  $\Leftrightarrow$  travail des forces

Lors du déplacement du pendule (par exemple passage de  $\theta$  à  $\theta'$ )

- Etablir la (les ?) relation(s ?) entre le travail des forces mises en jeu (*réponse b*) ci-dessus) et la (les ?) variation(s ?) d'une (ou des ?) énergie(s ?) mises en jeu (*réponse c*) ci-dessus)

.....

.....

.....

### Etude expérimentale

#### a) Dispositif

Pour faire l'étude énergétique du pendule, on se propose d'utiliser un pendule dont les positions sont repérées par un capteur, ce qui permet un enregistrement par ordinateur

#### b) Mise en œuvre du matériel

- Poulie étagée : lorsque le pendule est vertical et au repos, vérifier que l'index est en face du zéro de la graduation, sinon refaire le zéro en desserrant légèrement la fixation.
- Fixer la masse de 50,0 g sur le fil. (*vérifier la masse sur la balance et la noter sur la feuille réponse*)
- Choisir une longueur L de l'ordre de 60 à 80 cm (*noter la valeur de L : Attention à la mesure de L !*)
- Étalonnage du module angle :  
Attendre une minute environ après la mise sous tension du module.  
Lorsque le pendule est vertical en l'absence de mouvement, appuyer sur le bouton  $\alpha = 0^\circ$   
Écarter le pendule d'un angle de  $45^\circ$  par rapport à la verticale, appuyer sur le bouton  $\alpha = 45^\circ$   
Si les mesures sont effectuées pendant la première demie heure de fonctionnement du module, il est préférable d'effectuer l'étalonnage à chaque mesure (temps de stabilisation en température assez long).
- Brancher le module angle sur l'interface en respectant la concordance des masses du module et de l'interface.

#### c) Protocole

*Le protocole est à votre discrétion....*

*La seule condition imposée dans chaque situation étudiée de lâcher le pendule sans vitesse initiale d'un angle  $\theta_{\max}$  de l'ordre de  $25-30^\circ$*

L'objectif est de :

- 1) Faire un enregistrement des positions du pendule
- 2) Faire afficher dans la **fenêtre 1**, la courbe enregistrée
- 3) Si la courbe n'est pas centrée, faire calculer la grandeur centrée :  
 $EA0_{\text{corr}} = EA0 - MOY(EA0)$  puis la faire afficher dans la **fenêtre 1**
- 4) Faire calculer les positions  $\theta$  (*en degré*) à partir de EA0 (ou de EA0\_corr) (*voir sur le capteur  $0 \Leftrightarrow 45^\circ$  correspond à  $0 \Leftrightarrow 5 V$* )
- 5) Faire calculer  $\theta$  *en radian* puis faire afficher  $\theta = f(t)$  dans la **fenêtre 2**
- 6) Faire calculer les énergies mises en jeu ( $E_p, E_k, E_m$ ) (*à partir des formules établies à la page 1.*)
- 7) Faire afficher dans la **fenêtre 3**, ces énergies

Dans deux situations expérimentales

- A) Sur une durée suffisamment brève pour que l'amortissement soit négligeable
- B) Sur une durée suffisamment longue pour que l'amortissement soit visible (au moins une diminution de l'amplitude de l'ordre de 20-25%)

Il vous revient donc :

- de définir les paramètres de l'acquisition,
- de définir les formules de calcul (onglet en bas à gauche de Synchronie = Calcul) (*utiliser les réponses de A. Etude préalable*)
- de faire afficher les courbes demandées

Au fur et à mesure de votre travail, vous enregistrerez deux fichiers ayant pour nom :

**Votrenom\_non\_amorti.** Et **Votrenom\_amorti**

En indiquant dans la feuille réponse, les réglages associés à chaque enregistrement

Pour la dérivée, vous pouvez également la définir dans la fenêtre de calcul suivant la formule :  $\theta_{\text{point}} = \text{deriv}(\theta, t)$

**! : Il est conseillé après un enregistrement expérimental, de copier les données dans un fichier Excel pour terminer le compte rendu à la maison**

#### Commandes de Synchronie Configuration de l'acquisition

Menu **Paramètres - Entrées**

Voie 0 : Automatique

Menu **Paramètres Acquisitions**

Réglages :

Points : ????

Durée

Échantillon : ????

Total : ???

Déclenchement

Voie 0 : synchronisation

montante sur 0,2 V

Sortir par **Ok**

#### Commandes de Synchronie Configuration de l'affichage

Menu **Paramètres - Courbes**

Sélectionner *la variable à afficher*

et cocher la Fenêtre *x d'affichage*

Éventuellement renseigner Nom

Menu **Paramètres - Fenêtres**

Echelle en Y

Calibrer sur : **TOTALITÉ**

Valider par **OK**.

#### Commandes de Synchronie Dérivée

Menu : **Traitement** puis **Dérivation**

Définition des variables

Variable source : *à définir*

Variable destination : *à définir*

Propriétés

Dériver par rapport à : **T**

Échelle adaptée à la source : ✓

Valider par **Ok**

**LE PENDULE SIMPLE : un transformateur d'énergie ?**

*Feuille réponse*

$m =$  .....

$L =$  .....

**A) Situation 1 : amortissement négligeable**

En utilisant le *réticule* (voir fin de la feuille réponses), déterminer la période  $T$

Valeur de la période de  $\theta$  :

$T_0 =$  .....

Valeur de la période des énergies :

$E_p$                        $T_{Ep} =$  .....

$E_K$                        $T_K =$  .....

$E_m$                        $T_m =$  .....

**B) Situation 2 : amortissement visible**

Valeur de la période de  $\theta$  :

$T_0 =$  .....

Valeur de la période des énergies :

$E_p$                        $T_{Ep} =$  .....

$E_K$                        $T_K =$  .....

$E_m$                        $T_m =$  .....

**(Prendre soin à l'argumentation et la rédaction des réponses !)**

Dans la *situation 1*, par quelle fonction peut-on modéliser la courbe  $\theta = f(t)$  ? (Donner l'expression de cette fonction en faisant intervenir notamment  $T_0$ )

.....  
 .....

**Modélisation :**

- Faire afficher  $\theta$  (ou EA0) dans une nouvelle fenêtre (par ex Fenêtre 3)
- Dans **Traitement - Modélisation**, effectuer la modélisation par le logiciel Synchronie de la grandeur  $\theta$  par la **fonction choisie**
- Lorsque « solution optimale trouvée » est affichée, noter les valeurs finales affichées.
- Éventuellement, procéder à l'affichage du modèle dans la fenêtre 3.

*Remarque :*

Si la recherche est divergente, modifier les paramètres pour faciliter la recherche du modèle, ou ne pas cocher l'un des paramètres (par exemple  $T_0$  qui est connu par ailleurs avec une bonne précision). Relancer le calcul.

Lorsque la recherche aura abouti, on pourra remplacer les valeurs initiales par celles retournées par le logiciel, puis cocher à nouveau « actif » et enfin effectuer une recherche avec le dernier coefficient  $T_0$  en mettant son état sur **actif**.

**Commandes de Synchronie  
Configuration de l'acquisition**

Menu **Paramètres - Entrées**  
Voie 0 : Automatique

Menu **Paramètres Acquisitions**  
Réglages :

Points : .....

Durée

Échantillon : .....

Total : .....

Déclenchement

Voie 0 : synchronisation montante sur 0,2 V

**Commandes de Synchronie  
Configuration de l'acquisition**

Menu **Paramètres - Entrées**  
Voie 0 : Automatique

Menu **Paramètres Acquisitions**  
Réglages :

Points : .....

Durée

Échantillon : .....

Total : .....

Déclenchement

Voie 0 : synchronisation montante sur 0,2 V

**Commandes de Synchronie  
Modélisation**

Menu : **Traitement** puis **Modélisation**  
Variable à modéliser :

Nom :  $\theta$  (ou EA0)

Définition du modèle :

Nom : **Modèle**

Sélectionner « autre fonction » et écrire :  
**Ecrire la fonction choisie**  
 puis valider.

Entrer des valeurs **vraisemblables** des différents paramètres, puis cocher **actif** pour les paramètres.  
 Cliquer sur « Optimiser ».  
 Sortir de la fenêtre (cliquer sur **Quitter**)

Noter les valeurs des paramètres de la fonction **Modèle** obtenu par le **Traitement** => **Modélisation**

Les valeurs de  $T_0$  sont-elles différentes suivant la **situation 1** et la **situation 2** ? (écart relatif ? écart significatif ?)

.....  
.....  
.....  
.....

Comment se traduit, au niveau des courbes, l'amortissement ? (Analyser les courbes obtenues dans les deux situations)

.....  
.....  
.....

Quelle est la relation entre  $T_0$   $T_{Ep}$   $T_{EK}$  et  $T_m$  ?

.....  
.....

Interpréter cette relation (Aide : il est conseillé de s'intéresser aux fonctions mathématiques associées à l'évolution de chacune des grandeurs étudiées)

.....  
.....  
.....

Outils réticule



**Commandes de Synchronie**  
**Outil Réticule**

Lorsque l'outil Réticule est activé sur **Origine absolue**, il est commode de fixer le réticule sur une valeur particulière de t (un maximum par exemple) puis de cliquer (clic droit) sur **Origine relative** pour faire apparaître un second réticule qui permet une détermination directe de la période

Préciser votre protocole pour déterminer une période (que mesurez vous ? que calculez vous ? et pourquoi opérer ainsi ?)

.....  
.....  
.....  
.....

Estimer l'incertitude absolue sur **une** période T à un niveau de confiance de 95% en considérant que l'incertitude-type u sur

une lecture est égale à  $\frac{1 \text{ graduation}}{\sqrt{12}}$ , la valeur d'une graduation correspondant à la durée de l'échantillon choisie dans les

paramètres de l'acquisition. (Joindre les explications sur une feuille à part)

U(T) = .....

Une video bilan : <http://videophysique.blogspot.fr/2011/01/pendule-simple.html>